

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra Geotechniky a podzemního stavitelství

Konvergenční měření v geotechnice
Convergometric Measurements in Geotechnics

Student:

Pavel Matějek

Vedoucí bakalářské práce:

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Pavel Matějek**

Studijní program: B3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3647R017 Geotechnika

Téma: **Konvergenční měření v geotechnice**
Convergometric Measurements in Geotechnics

Zásady pro vypracování:

1. Princip a metody konvergenčních měření
2. Aplikační oblasti využití konvergenčních měření v geotechnice
3. Praktický příklad realizace konvergenčních měření, analýza získaných výsledků
4. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Rozsypal, A.: *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Bratislava:Jaga, 2001. ISBN 80-88905-44-3.
2. Dunncliff, J.: *Geotechnical Instrumentation for Monitoring Field Performance*. Wiley: New York, 1993. ISBN 0-471-00546-0.
3. Bernard, R.:*Problematika kontrolního sledování na podzemních dílech a vyhodnocování varovných stavů*. Disertační práce.Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011.
4. internetové www stránky firem

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2011

Datum odevzdání: 30.04.2012

doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Darja Kubečková Skulinová, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce doc. RNDr. Evě Hrubéšové, Ph.D. a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 30. dubna 2012

.....
Pavel Matějka

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 30. dubna 2012

.....

Pavel Matějka

Anotace bakalářské práce

Matějka Pavel : *Konvergenční měření v geotechnice*, VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, katedra geotechniky a podzemního stavitelství, 2012. 44 stránek.
Vedoucí bakalářské práce: doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.

Předmětem bakalářské práce je problematika konvergence, posunů a metod využívaných při konvergenčním měření v geotechnice. Součástí je měřicí technika, která se v této oblasti využívá, jedná se především o mechanické, optické a elektrooptické přístroje, jejich výhody a nevýhody.

Dále se práce zabývá aplikačními oblastmi konvergenčního měření v geotechnice a jejich názornou ukázkou. V další části se práce věnuje praktickému příkladu měření konvergence železničního jednokolejného tunelu na Slovensku. Následně bude podrobně popsán postup měření Kačinského tunelu a pro větší přehlednost budou představeny grafy s horizontálními a vertikálními trojrozměrnými změnami posunů měřených bodů.

V neposlední řadě jsou specifikovány metody hodnocení konvergenčního měření ostění při ražbě tunelu a geodetické práce při realizaci tunelu ražených Novou rakouskou tunelovací metodou.

Bachelor's thesis annotation

Matějek Pavel : *Convergometric Measurements in Geotechnics*, VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of civil engineering, Department of geotechnical and underground engineering, 2012. 44 pages. Head supervisor: doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.

The subject of the thesis is definition of convergence, shifts and methods used in the convergence. The technique is a measurement that is used in this area, it is primarily mechanical, optical and electrooptical devices, their advantages and disadvantages.

The thesis deals with the application areas of convergence measurements in geotechnics and their demonstration. The next selection deals with the practical example of measuring single-track railway tunnel convergence of the Slovak Republic. Following the procedure described in detail Kacinski tunnel measurement and for greater clarity will be presented charts with horizontal and vertical changes in three-dimensional displacement measurement points.

Finally, the specified measurement methods for assessing convergence during the excavation of the tunnel lining and geodetic work in the implementation of the tunnel excavated the New Austrian Tunneling Method.

Klíčová slova

geotechnický monitoring

konvergenční měření

konvergometr

tunel

Keywords

geotechnical monitoring

convergence measurements

konvergometr

tunnel

OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	Principy a metody konvergenčního měření.....	10
2.1	Konvergence a posuny.....	10
2.2	Měřicí technika	10
2.2.1	Mechanické měřicí přístroje.....	12
2.2.2	Optické měřicí přístroje.....	14
2.2.3	Elektrooptické měřicí přístroje.....	15
3	Aplikační oblasti využití konvergenčního měření v geotechnice.....	17
3.1	Monitoring tunelů	18
3.2	Monitoring skalních stěn	19
3.3	Monitoring umělých násypů	19
4	Realizace konvergenčního měření a analýza získaných dat	20
4.1	Praktický příklad konvergenčního měření Kačinského tunelu na Slovensku	20
4.1.1	Konvergenční měření Kačinského tunelu	21
4.1.2	Výsledné grafy měření	25
4.1.3	Zpracování konvergenčních měření	26
4.2	Metody hodnocení konvergenčních měření ostění při ražbě tunelu	26
4.2.1	Definice problematiky.....	26
4.2.2	Standardní hodnocení výsledku konvergenčních měření.....	28
4.2.3	Variantní způsoby grafického znázornění výsledků konvergenčních měření....	30
4.3	Geodetické práce při realizaci tunelů ražených NRTM	34
5	Závěr	40
6	Seznam pramenů.....	41
6.1	Publikace	41
6.2	Internetové odkazy	42
6.3	Obrázky a fotografie.....	42

Seznam použitého značení

AVLS	automatický vytyčovací laserový systém
LS	laserový scanner
MKP	metoda konečných prvků
NRTM	nová rakouská tunelovací metoda
PVS	podrobná vytyčovací síť
TMS	tunelový měřicí systém
TS	totální stanice
ZVS	základní vytyčovací síť
ŽB	železobeton

1 ÚVOD

Geotechnický monitoring umožňuje získat objektivní poznatky a informace o chování horninového prostředí, případně konstrukce, které je způsobeno inženýrským nebo přírodním zásahem a stanovit danou prognózu chování horninového prostředí v budoucnosti.

Hlavním úkolem geotechnického monitoringu je především přispívat k zajištění bezpečnosti přírodních i umělých svahů (násypy, výsypky, hráze, stavební jámy) a jiných těles, jak v průběhu výstavby, tak i po jejím ukončení, ale také definovat jejich varovné stavy, které vyžadují odpovídající technicko-ekonomické opatření.

Geotechnický monitoring zahrnuje několik druhů měření - např.: měření seismických účinků, trhlin, napětí v horninovém prostředí, smykových ploch, sedání horninového prostředí, měření dynamická a akustická, měření únosnosti svorníků, sledování proudění vody a pórových tlaků a v neposlední řadě i konvergenční měření.

Jedním z důvodů volby tohoto tématu bakalářské práce je blíže se seznámit s konvergenčním měřením jako takovým, neboť spadá do geotechnického monitoringu a ten je nedílnou součástí celého odvětví geotechniky.

Struktura bakalářské práce je tvořena třemi stěžejními kapitolami, které jsou dále členěny do jednotlivých podkapitol. První část práce podrobněji charakterizuje principy a metody využívané při konvergenčním měření v geotechnice. Dále je pozornost věnována měřicí technice, která se v této oblasti využívá v praxi, jedná se především o mechanické, optické a elektrooptické přístroje, dozvíme se veškeré jejich výhody a nevýhody.

Druhá kapitola se zabývá aplikováním konvergenčního měření a jejich názornou ukázkou na několika schématech přírodně i uměle vytvořených geotechnických děl.

Práci uzavírá poslední kapitola, která je věnována praktickému příkladu k využití konvergence železničního jednokolejného tunelu na Slovensku. Následně bude podrobně popsán postup měření Kačinského tunelu a pro větší přehlednost budou představeny grafy s horizontálními a vertikálními trojrozměrnými změnami posunů měřených bodů. V neposlední řadě jsou specifikovány metody hodnocení konvergenčního měření ostění při ražbě tunelu a geodetické práce při realizaci tunelu ražených Novou rakouskou tunelovací metodou.

2 Principy a metody konvergenčního měření

2.1 Konvergence a posuny

Konvergenci můžeme definovat jako změnu vzdáleností protilehlých bodů osazených ve svornících nebo terčících na povrchu horninového prostředí (na líci podzemního díla, na skalní stěně apod.). Modernějším pohledem je úvaha o konvergenci jako o relativní polohové změně měřených bodů - tzn. velikosti vektoru posunutí vzhledem k původnímu stavu. Vektory se pak rozkládají do příslušných směrových složek.

Místa, ve kterých měříme deformace výlomu, nazýváme měřičskými profily. Ty jsou definovány nejčastěji třemi body - pro menší plochy průřezů, pěti body - pro velké průřezy tunelů. Jeden je vždy v nejvyšší části, ostatní jsou na bocích, zrcadlově dle osy tunelu. U eliptických, kruhových a členěných průřezů jsou požadavky dány specifiky geometrie. Body by měly být osazeny co nejdříve po vyražení výrubu nebo bezprostředně po provedení primární výztuže s vědomím, že největší deformace probíhají v bezprostřední blízkosti čelby. [1]

První měření se snažíme provádět ihned po vybudování geotechnického díla. Toto měření uvažujeme jako tzv. nulové. S tímto měřením pak postupně srovnáváme každé následující měření a tyto změny zaznamenáváme v čase.

Problematikou konvergenčního měření je fakt, že při jeho počátečním měření již podstatná deformace v měřeném místě proběhla. Deformace začínají totiž ve značné vzdálenosti před čelbou. Tímto důsledkem je, že hodnoty konvergenčních měření často dosahují pouhé poloviny celkových hodnot konvergence, které by bývaly byly změřeny, pokud by se zachytila reakce horninového masivu na postupu ražby od samého počátku již před přibližující se čelbou. Jedná se o tzv. ztracenou konvergenci, která bude blíže přestavena ve čtvrté části této bakalářské práce.

2.2 Měřicí technika

Měřicí přístroje konvergencí nebo posunů můžeme rozdělit dle metod a jejich funkcí do třech základních skupin na mechanické, optické a elektrooptické.

Mechanické měřicí přístroje:

Jedná se o nejjednodušší přístroje, jejichž princip je založen na zjišťování délek pomocí číselníků. Díky jednoduché konstrukci jsou relativně přesné. Do této skupiny patří měřická pásma, konvergenční stojky, konvergometry a v zásadě i extenzometry.

Optické měřicí přístroje:

Jsou to přístroje, které využívají optických čoček k přiblížení stabilizovaných bodů a pomocí nitkového kříže je zaměřují. Výstupem jsou vertikální a horizontální úhly, jež jsou pak pomocnou veličinou k výpočtu vzdáleností. Patří sem nivelační přístroje a teodolity. K zjištění horizontálních vzdáleností však potřebujeme měřické pásmo, které snižuje celkovou přesnost tohoto polohopisného způsobu zaznamenávání. Specifická, ale do této skupiny patřící, je i fotogrammetrie.

Elektrooptické měřicí přístroje:

Na této podstatě pracují totální stanice, jejichž principem je odraz laserového paprsku nebo paprsku modulovaného světla od terčů upevněných na měřených bodech. Z rychlosti navracení vyslaného paprsku do přístroje jsou počítány skutečné vzdálenosti. Moderní totální stanice jsou ale komplexní technikou, která zjišťuje spoustu jiných parametrů.

Před volbou měřicí techniky bychom si měli položit několik otázek:

- Co budeme měřit?
- Kde budeme měřit?
- Jak budeme měřit?
- Jak často budeme měřit?
- Za kolik budeme měřit?

V případě např. krátkého podzemního díla malého průřezu zvolíme měření konvergometrem. Naopak ve velkém tunelovém profilu zvolíme efektivnější a časově méně náročnější způsob měření, a to totální stanici nebo laserové skenování, které bude popsáno v dalších oddílech. Avšak každé podzemní dílo má své specifikum a je třeba pohlížet na efektivnost a ekonomiku dané metody měření.

2.2.1 Mechanické měřicí přístroje

Konvergenční tyč:

Je to v podstatě teleskopicky zasouvatelné měřidlo, kterým odměřujeme vzdálenost dvojice fixovaných bodu. Jednou konvergenční tyčí tak můžeme proměřit velké množství dvojic fixovaných bodu. Při vyhodnocování konvergence však musíme vypočíst rozdíl mezi počátečním měřením.

Konvergenční stojka:

Konvergenční, neboli také teleskopické měřidlo je rovněž instalováno mezi dva měřicí body. Manuálně se pouze v určitých intervalech odečítají hodnoty, přičemž je možné měřidlo nastavit tak, aby ukazovalo přímo konvergenci od počátku instalace konvergenční stojky. Konvergenční stojka se používá především pro měření kratších vzdáleností.

Konvergometr:

Představuje měřicí pásmo nebo drát z oceli s registračním zařízením nebo s převodem měřených hodnot na elektrické veličiny. Vybaven je dále pružinou se siloměrem zaručující potřebné napnutí, napínacím zařízením. Samotné měření probíhá napnutím pásma mezi dvěma pevně osazenými body a odečtením vzdálenosti. Konvergenční měřidlo se skládá z upínacího kloubu na volném konci prodlužovacího pásma, z vlastního prodlužovacího pásma a z těla konvergenčního měřidla. Součástí těla konvergenčního měřidla je druhý upínací kloub, napínací siloměr (dynamometr) a vlastní měřidlo relativních změn délek (posuvné měřidlo). Posuvné měřidlo používá princip „šuplery“, přesnost čtení je proto obvykle 0,05 mm. Siloměr zajišťuje vždy stejné napnutí pásma, odečet z posuvného měřidla se provádí po dosažení stanoveného napnutí pásma. Doporučená napínací síla je 100 N.

Obrázek č. 2.1: Konvergometr.



Obrázek č. 2.2: Použití mechanických a konvergenčních měřidel.

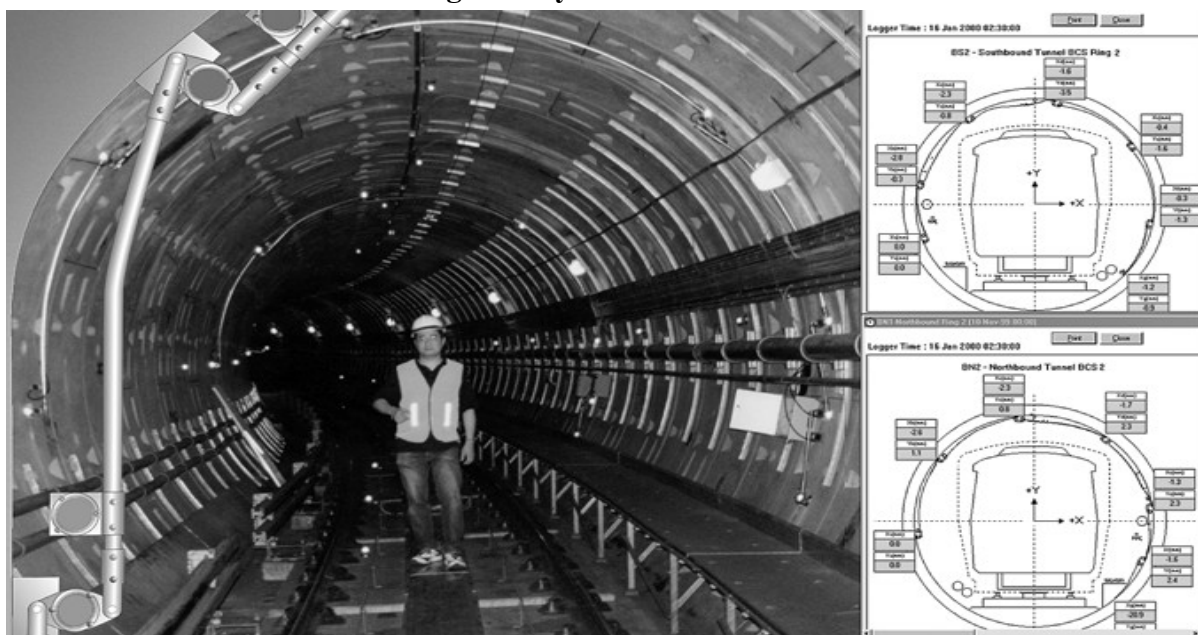


Basetův konvergenční systém:

Sleduje pohyb referenčních bodů, které jsou montovány převážně na ostění tunelu. Body jsou uspořádány do roviny, která je kolmá k ose tunelu. Systém kloubových ramen spojuje každý referenční bod a tvoří řadu virtuálních trojúhelníků. Na každém rameni je umístěn náklonoměrný senzor, který zaznamenává prostorové posunutí referenčních bodů v souřadnicích X a Z. Zaměřené hodnoty náklonu jsou následně přeneseny signálními kabely do vzdáleného počítače, vyhodnoceny softwarem a zobrazeny v grafické nebo tabulkové formě. Systém může pracovat v téměř reálném čase. Kompletní sadu náklonu lze zaznamenat asi po pěti sekundách.

Tento systém se používá pro sledování železničních tunelů nebo pro sledování stability ostění výrubu tunelu zpevňovaném stříkaným betonem.

Obrázek č. 2.3: Basetův konvergenční systém.



Výhody a nevýhody mechanických konvergenčních přístrojů:

Mezi hlavní výhody mechanických konvergenčních přístrojů můžeme zahrnout nízkou pořizovací cenu (ve srovnání s modernějšími přístroji), vysokou přesnost (až 0,02 mm) a jednoduchou technologii.

Nevýhodou přístrojů je čas, který je potřebný k zaměření měřických profilů a možnost přístupů k měřeným referenčním bodům (vyjímaje Bassetovým systémem měření), zvláště pak vezmeme-li v úvahu zastavení prací související s ražbou.

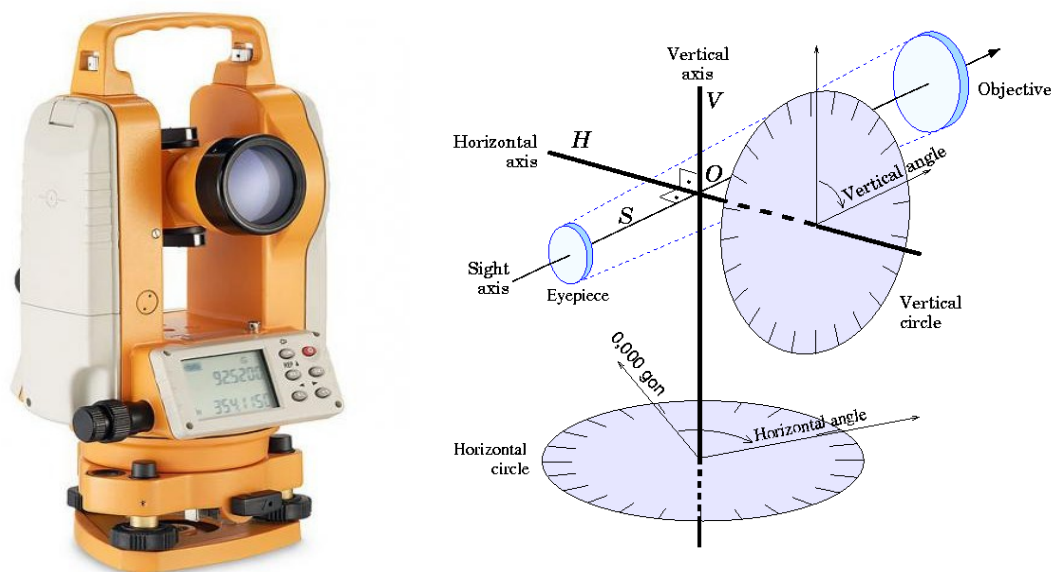
2.2.2 Optické měřicí přístroje

Teodolit:

I přestože název teodolit může někomu znít jako jedno z období pravěku, nenechte se mýlit, jedná se o přístroj využívaný v zeměměřičství už od 19. století. Od této doby prodělaly teodolity samozřejmě značný technologický i konstrukční pokrok, nicméně principy s jejichž pomocí měříme a vytyčujeme vodorovné i výškové úhly zůstaly v podstatě nezměněné.

Moderní teodolity se sestávají z pohyblivého dalekohledu, který je upevněn na dvě na sebe kolmé osy - horizontální (neboli klopná) a vertikální osa. Namířením dalekohledu na konkrétní bod pak můžeme velmi přesně odečíst velikosti úhlu na obou osách.

Obrázek č. 2.4: Teodolit a jeho osy pohybu.



2.2.3 Elektrooptické měřicí přístroje

Totální stanice:

Totální stanice (TS) řadíme mezi elektronické přístroje pro měření a registraci měřených hodnot vodorovných úhlů, výškových úhlů, vzdáleností a jejich přepočet na pravoúhlé souřadnice, které vyšlou laserový nebo infračervený paprsek směřující požadovaným směrem. Dálkoměr slouží k zaměřování na odrazové hranolky nebo plastové terčíky vyplněné odrazovou fólií, které jsou upevněny na měřených bodech.

Ze znalosti rychlosti a času šíření paprsku k zaměřovanému bodu a zpět je automaticky počítána vzdálenost. V případě znalostí vodorovných a svislých úhlů se pomocí trigonometrických vztahů a běžných výpočetních postupů vypočítají trojrozměrné souřadnice těchto měřených bodů. Porovnáváním souřadnic více měření můžeme sledovat prostorové změny bodů. Pro potřeby podzemního stavitelství se vyrábí přístroje s vyšší odolností proti vodě a prachu.

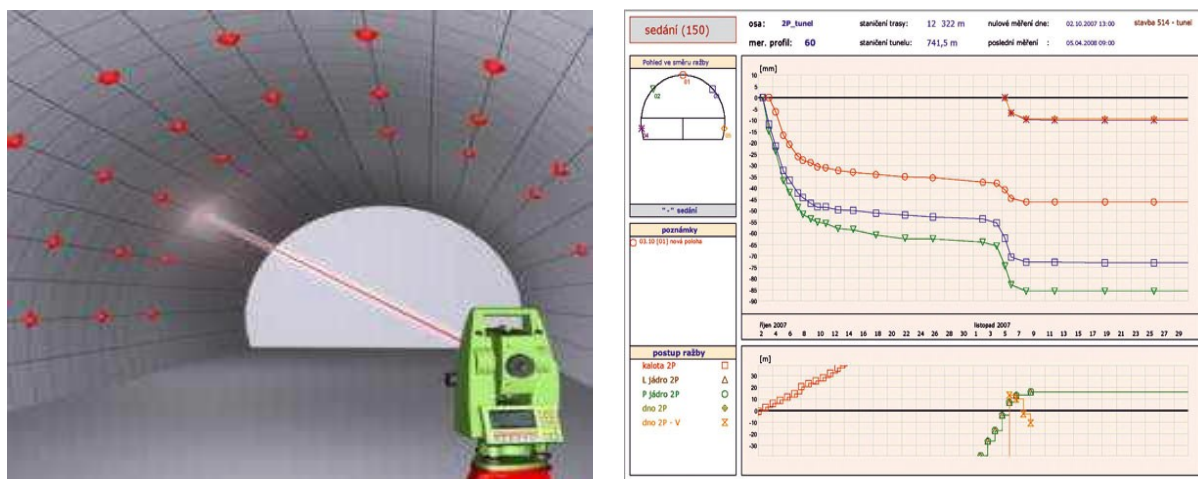
TS jsou vybaveny zabudovaným nebo připojitelným hardwarem, výpočetními softwary, dálkovými ovladači, záznamovými médii, atd. Pomocí nich je měření efektivnější a výpočty automatizované a rychle vyhodnotitelné.

Výhody a nevýhody totálních stanic:

Samotné měření neklade nároky na pozastavení jiných činností souvisejících s výstavbou. Měří se z volných stanovišť, kdy si měřič zvolí vhodné místo postavením stativu TS a připojením na stabilizované body zaměřuje velké množství konvergenčních bodů za krátkou dobu. Pomocí TS se stabilizované body využívají k dalším aplikacím, jako např. ke stanovení směru ražby.

Na rozdíl od mechanických konvergenčních měření odpadá nutnost fyzického přístupu k bodům. U zaměřeného bodu jsou známy 3D souřadnice, proto je absolutní posun přesně znám. Zaměřené a zaznamenané vstupy mohou být okamžitě vyhodnoceny a softwarem digitalizovány. Nedochází k hrubým chybám nebo chybám z přepsání. Pracovat s TS může pouze kvalifikovaný personál. Pořizovací náklady TS jsou v dnešní době dosti vysoké.

Obrázek č. 2.5: Schéma zaměřování odrazových terčů.



Laserové skenování:

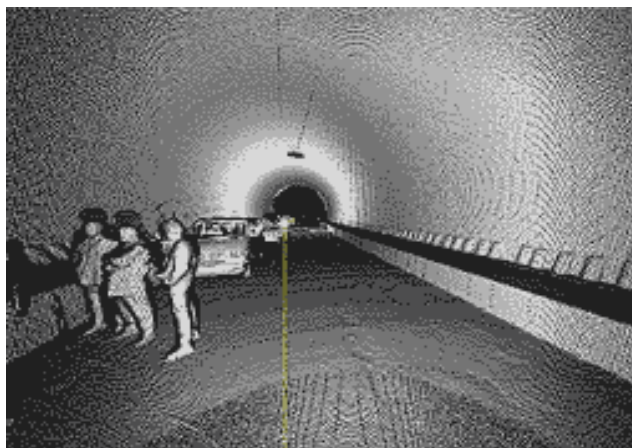
Laserové skenovací systémy umožňují bezkontaktní určování prostorových souřadnic, 3D modelování, vizualizaci složitých staveb, konstrukcí a podzemních prostor, atd. s mimořádnou rychlostí, přesností, komplexností a bezpečností.

Laserový skener je složitější TS s laserovým dálkoměrem, který na rozdíl od TS dokáže za jednu sekundu zaměřit řádově tisíce bodů ve svém zorném poli. Nasnímaný objekt může být pomocí softwaru zobrazen ve formě mračen bodů, viz. obrázek č. 2.5 na jejichž základě může být vytvořen model objektu, který lze přenést do CAD systému. Většina skenovacích systémů využívá nejmodernější pulsní laserovou technologii pro měření délek a určuje polohu bodů prostorovou polární metodou.

Výhody a nevýhody laserového skenování:

- velmi přesné zaměření stávajícího stavu s výrazně vyšší produktivitou práce a tedy i s finančními úsporami,
- měření může probíhat za plného provozu, popř. s minimální odstávkou prací,
- velmi rychlé zpracování 3D modelů,
- vysoká pořizovací cena.

Obrázek č. 2.6: Laserový scanner a 3D model tunelu.



3 Aplikační oblasti využití konvergenčního měření v geotechnice

Geotechnika má oproti ostatním inženýrským disciplínám značná specifika. Zatímco nadzemní stavby a konstrukce (betonové, ocelové, atd.) pracují prakticky s homogenním materiálem, který se v rozsahu konstrukce nemění, v horninovém či zeminovém prostředí dochází (až na vzácné výjimky, kdy jsou konstrukce budovány např. v prostředí naprosto homogenních, izotropních jílu) ke změně parametrů prakticky na každém metru a v čase se tyto parametry mohou rychle měnit. Zkušený geotechnik se nesnaží získat hodnotu zatížení či deformací s přesností na 3 desetinná místa a získanou hodnotu aplikovat v rozsahu celé konstrukce, ale snaží se co nejjednodušším způsobem získat co nejvíce informací o rozdělení napětí a deformací v celém rozsahu konstrukce.

Monitoring, který se zaměřuje na celkové sledování stavebních objektů a do kterého spadá i konvergenční měření je nedílnou součástí geotechniky.

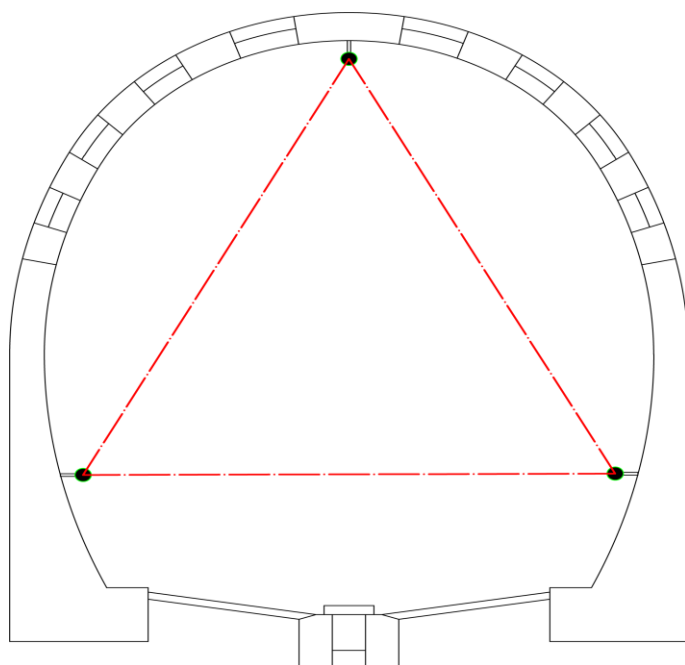
3.1 Monitoring tunelů

Monitoring konvergence stěn výrubu a ostění výrubu

Monitoring konvergence stěn výrubu nebo ostění je prováděn především s cílem kontroly stability podzemního díla. Měření je prováděno buď klasickým konvergenčním pásmem (především při ražení štol) nebo optickými konvergenčními přístroji. Ustálení konvergence signalizuje obnovení stavu rovnováhy, neustálení naopak indikuje přijetí následných dodatečných stabilizačních opatření (dodatečné kotvení, změna parametru kotev, apod.).

Výsledky konvergenčních měření mohou být využity i pro krátkodobou prognózu geologických podmínek před čelbou. Konvergence mohou signalizovat nerovnoměrnou stavbu horninového masívu za výrubem, vychylování vektoru posunu konvergenčních bodů z roviny kolmé k podélné ose tunelu indikují změny v masívu před čelbou (vychýlení proti směru ražení tunelu - zhoršení podmínek ražby, vychýlení ve směru ražení - zlepšení podmínek ražby).

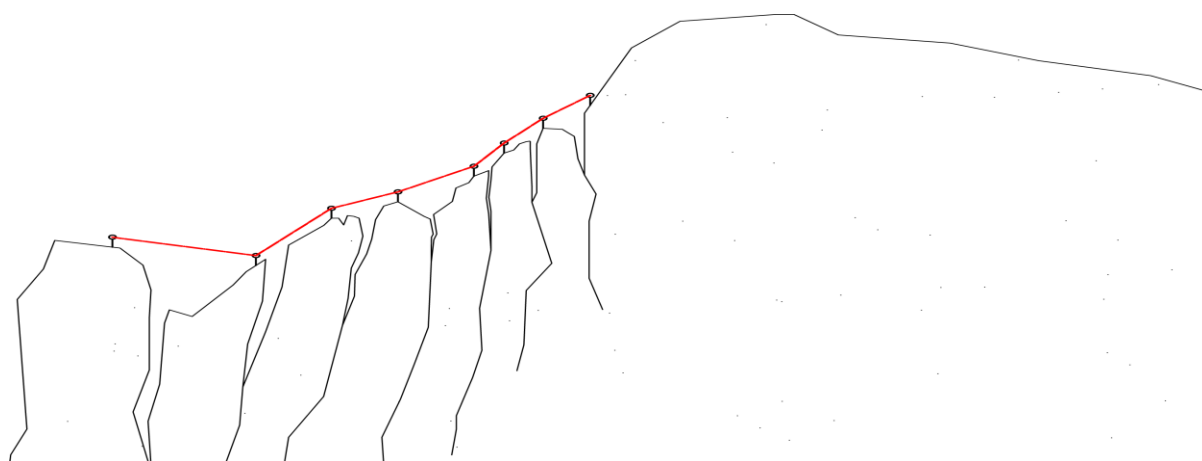
Obrázek č. 3.1: Řez tunelového měřického profilu.



3.2 Monitoring skalních stěn

Z rozdílného způsobu porušování a chování skalních hornin vyplývají specifikace monitoringu skalních stěn. Oproti zemním svahům nedochází k porušování smykem podél smykových ploch, ale křehkým lomem nebo sesuvem podél ploch nespojitosti, může také docházet k pohybům celých horninových bloků. Stabilita a celistvost skalních stěn je nepříznivě ovlivňována vodou, která způsobuje zvyšování hydrostatických tlaků a působí negativně i dynamicky proudící vody. Mezi základní typy monitorovacích měření patří i povrchové konvergenční měření.

Obrázek č. 3.2: Schéma skalní stěny a povrchového konvergenčního měření.



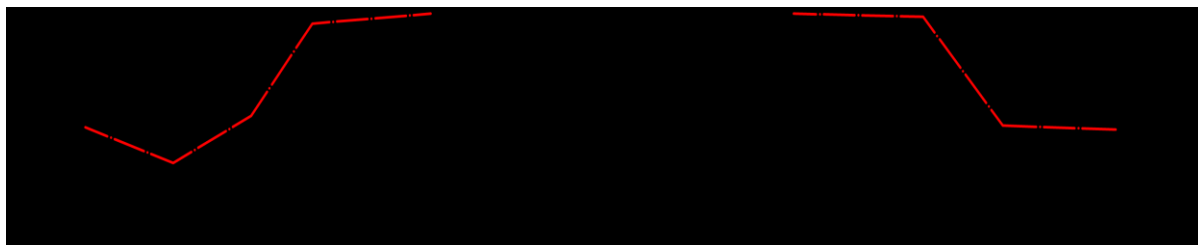
3.3 Monitoring umělých násypů

Násypy spadají do kategorie umělých svahových těles, které se řídí stejnými zákonitostmi jako v případě přírodních zeminových svahů. Avšak je tu jedno specifikum, které můžeme ovlivnit. Jedná se o samotný návrh a následnou realizaci umělého svahového tělesa, především vhodnou geometrii tělesa, vhodný materiál a optimální zhutnění. V případě sypaných těles hraje velkou roli rovněž vhodná úprava podloží a správné odvodnění.

Při navrhování monitorovacích měření umělých svahových těles by měl být zohledněn fakt, že pro sypaná svahová tělesa je obvykle rozhodující krátkodobá stabilita. Z výše uvedených charakteristik plyne, že v případě umělých svahů se geotechnický monitoring stává velmi významnou součástí samotné realizace těchto svahových těles.

Každý typ umělého svahu má své určité specifické požadavky, avšak lze říct, že se při monitoringu svahových těles uplatňují i povrchová konvergenční měření.

Obrázek č. 3.3: Schéma umělého násypu a povrchového konvergenčního měření.



4 Realizace konvergenčního měření a analýza získaných dat

4.1 Praktický příklad konvergenčního měření Kačinského tunelu na Slovensku

Rakouskou tunelovací metodou byl v roce 1938 vyražený Slovenský Kačinský tunel o celkové délce 350 m. Jedná se o jednokolejný přímý tunel, který ve směru staničení stoupá ve sklonu 9,17 ‰. Obezdívka tunelu je z prostého betonu a kamenných dílců v klenbě. V některých částech tunelu se nachází celý profil z kamenného zdiva. Délka pásů je mezi pěti až devíti metry s pracovními spárami.

Tunel je vyražený v horninách třídy R2 a R3. Podle statického výpočtu výsledné napětí v betonovém ostění nepřesahuje dovolené namáhání (za předpokladu dobrého stavu ostění).

Cesta I/66 Banská Bystrica - severní obchvat vede v místě křížení s tunelem ŽSR v relativně hlubokém zářezu cca 4 - 8,5 m. Přímě nad tunelem bude založený pilíř nového silničního mostu SO210 komunikace křižující cestu I/66. Při nadloží tunelu cca 7,5 - 18 m. je stavbou nepříznivě ovlivní tvorbu horninové klenby. Zároveň s hloubením zářezu dojde k odstranění jílové vrstvy, působící jako přirozená izolace proti srážkovým vodám.

Cílem geotechnického monitoringu je sledování deformací klenby tunelu a pasportizace příportálových opěrných stěn a ostění tunelu vzniklých stavebními pracemi.

Obrázek č. 4.1: Kačinský tunel na Slovensku.



4.1.1 Konvergenční měření Kačinského tunelu

Dne 16. listopadu 2011 bylo provedeno jedno z mnoha kontrolních měření konvergence Kačinského tunelu v Bánské Bystrici na Slovensku, kterého jsem se osobně zúčastnil společně se třemi pracovníky firmy Inset s.r.o.

Začátek měření bylo v 19:30 hod. a počáteční teplota vzduchu se pohybovala kolem 6°C. Celková doba měření trvala 5 hodin za plného provozu. Veškerá konvergenční měření byla prováděna totální stanicí Leica.

Popis geodetického značení tunelu

Tunel se skládá z deseti měřických profilů kolmých k ose tunelu (na obrázku č. 4.1 - značených KVG1-10), které jsou osazeny pěti odrazovými terčíky.

Součástí geodetického značení je celkem šest stabilizačních bodů (čtyři v tunelu a dva vně - značeny modře), které jsou ukotveny do železobetonových prahů. Na tyto označené body se ustavuje TS a následně se cílí na odrazové terčíky.

Popis přístroje Leica TCR 803

Leica TCR 803 je velmi výkonná a efektivní totální stanice s bezhranovým dálkoměrem, softwarovým vybavením, interní pamětí a laserovou olovnicí. Je velmi jednoduchá na ovládání, protože umožňuje nadefinovat uživatelská tlačítka podle potřeby a výhodná je také plnohodnotná klávesnice. Kódování bodů lze ovládat stiskem pouze jednoho tlačítka. Měřicí čas a čas registrace je velmi krátký - pod 1 s. Do vnitřní paměti se vejde až 10 000 bodů. Výstupní formát dat se dá individuálně nakonfigurovat tak, aby vyhovoval zvolenému geodetickému výpočetnímu softwaru.

Obrázek č. 4.2: Totální stanice Leica TCR 803.



Centrace a horizontce totální stanice:

Před samotným měřením je třeba totální stanici správně postavit na stanoviště. Stativ se rozloží tak, aby byl přibližně vodorovně a přibližně kolmo nad stabilizačním znakem. Pomocí teleskopických noh se nastaví optimální výška stativu pro měřiče. Na hlavu stativu se umístí totální stanice s trojnožkou a připevní se přichytným středovým šroubem, který prochází otvorem umístěným pod hlavou stativu.

Správnou centraci zkontrolujeme pohledem do okuláru optické centrace, v tuto chvíli však nejsou urovnané libely. Libely se vyrovnají upravením délky nohou stativu,

což může mírně změnit centraci. Další centrace se provede pomocí stavěcích šroubů. Postup se obvykle několikrát opakuje.

Horizontace se provádí otáčením stavěcích šroubů s předepsaným postupem a je třeba ji kontrolovat na libelách. Příprava totální stanice ke měření končí přestřelením dalekohledu, což se provádí otočením objímky kuláru. Koriguje se tak poloha záměrného obrazce. Zaostření bývá u každého měřiče individuální v závislosti na vlastnostech oka.

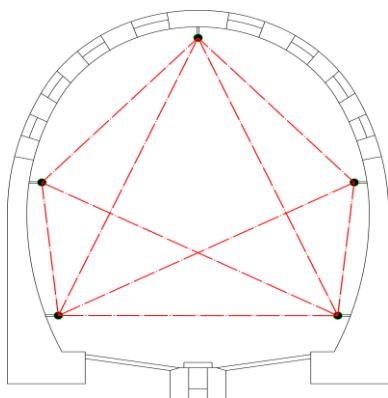
Postup měření:

Začátek měření je zvolen ze stabilizačního bodu umístěného před severozápadním portálem tunelu. Při samotném měření měřič zadá do přístroje označení bodu (podle projektové dokumentace) a cílí na zvolený terčík měřického profilu. K přibližnému zaměření stačí použití hrubých ustanovek s pomocí kolimátoru. Přesné zacílení se provádí pomocí jemných ustanovek, přičemž měřič se již dívá do okuláru dalekohledu. K přesnému zaměření bodu je potřeba zaostřit na cílený bod posunutím vnitřní zaostřovací soustavy, tedy sekundárního zrcadla. Poté zmáčkne speciální tlačítko, umístěné v blízkosti ustanovek a na displeji se zobrazí naměřené hodnoty, které se uloží pro pozdější použití.

Postupně se cílí na dva odrazové terčíky umístěné v ostění ŽB koridoru vzdálených několik desítek metrů od sebe (každý odrazový terčík má označení dle dokumentace, zadává se do TS) a následně se cílí na jednotlivé terčíky v prvním a druhém měřickém profilu (KVG1 a KVG2), v poslední řadě na další stabilizační bod.

Po zaměření tohoto úseku se měřická skupina posouvá na další stabilizační bod. Cílení probíhá vždy ze stabilizačního bodu na dva měřické profily osazené pěti odrazovými terčíky vpřed a dva vzad. Tímto způsobem se dostane měřická skupina ke konci tunelového portálu, kdy cílí na poslední měřický profil (KVG10) a dva terčíky umístěné mimo železniční tunel. Jeden je ukotvený na přilehlé stávající zchátralé budově a druhý na betonovém patníku u železničního násypu. Po skončení měření se odmontuje TS od stativu a uloží do bezpečnostního obalu. Z důvodu veškerých měření probíhajících ve večerních až nočních hodinách musí být každý měřič vybaven svítilnou a odrazové terče musí být při cílení nasvíceny.

Obrázek č. 4.3: Řez železničního Kačinského tunel.

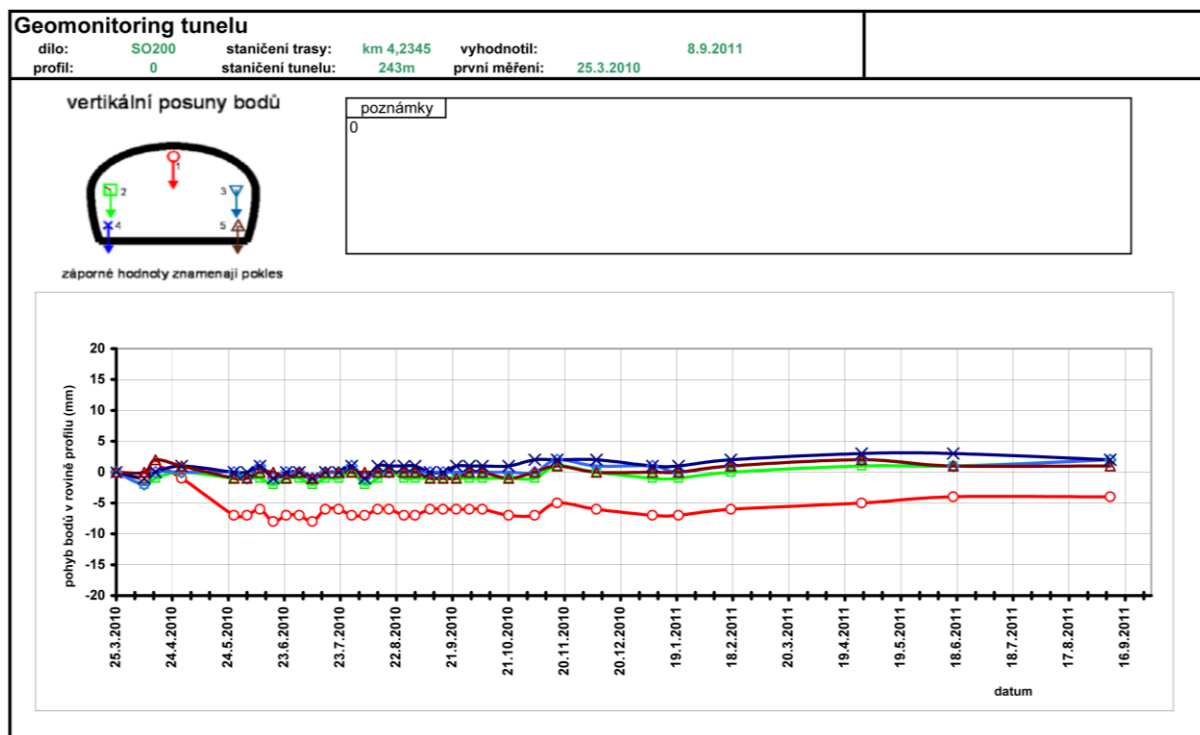


Obrázek č. 4.4: Situace území v místě Kačinského železničního tunelu.

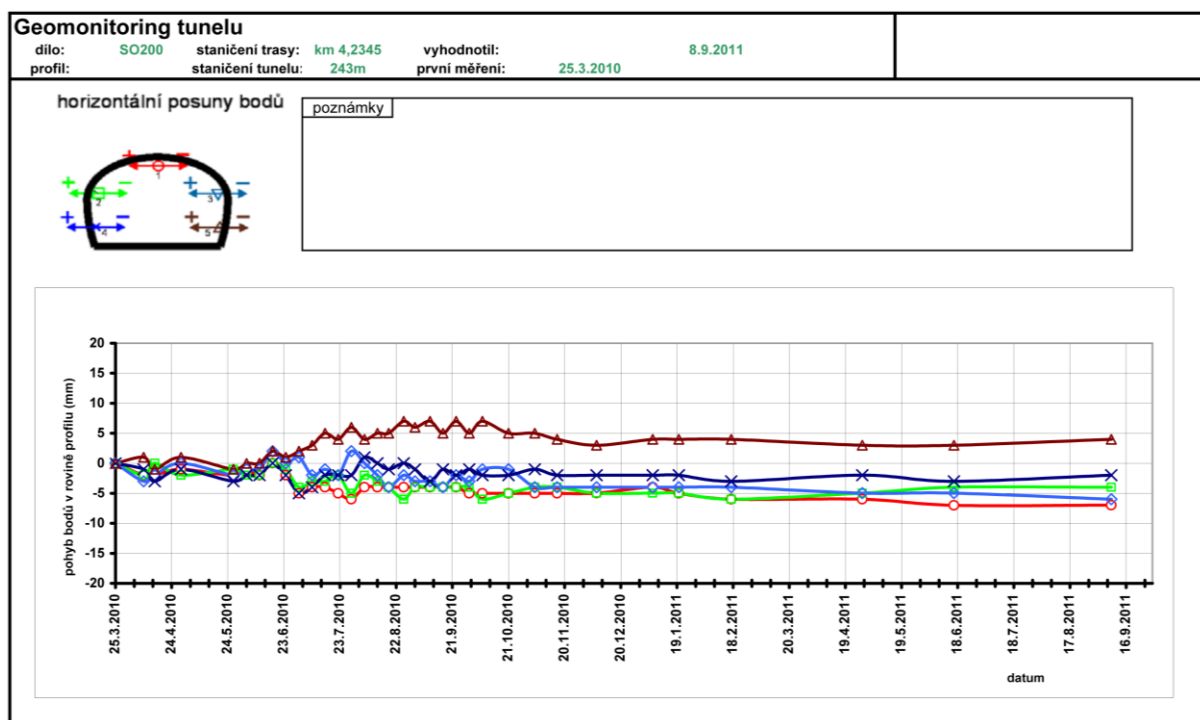


4.1.2 Výsledné grafy měření

Obrázek č. 4.5: Graf pohybu bodů ve vertikálním směru, v období od 25. 3. 2010 do 4. 9. 2011 (KVG5).



Obrázek č. 4.6: Graf pohybu bodů v horizontálním směru, v období od 25. 3. 2010 do 4. 9. 2011 (KVG5).



4.1.3 Zpracování konvergenčních měření

Podrobnější podklady k vyhodnocení měření a k inženýrsko - geologickým a hydrogeologickým podmínkám lokality se mi vzhledem ke stále probíhajícímu projektu firmy a velmi omezeným možnostem publikací nepodařilo získat.

4.2 Metody hodnocení konvergenčních měření ostění při ražbě tunelu

4.2.1 Definice problematiky

Základní monitorovací metodou při sledování bezpečnosti ražeb je již několik let konvergenční měření, které současně kontroluje správnost základních projektových předpokladů o deformačním chování raženého tunelu během jeho výstavby.

Interpretované výsledky současných metod konvergenčního měření však doposud nevyčerpaly všechny možnosti pro použití jeho výsledků. Například pro fyzikálně a početně zdůvodněnou volbu kritérií varovných stavů, pro zpětné analýzy s použitím metod matematického modelování atp.

Výsledky konvergenčního měření v praxi jsou dnes zaměřené převážně na bezpečnostní kontrolu a zvyšování požadavků na kvalitu projektu. Důvodem je i rychlé zpracování jeho výsledků a jednoduchá interpretace. Kromě toho jsou výsledky zatížené řadou zkreslení, která se nedostatečně berou v úvahu při jejich hodnocení. Tyto vlivy obvykle není možné v průběhu ražeb vždy dostatečně, spolehlivě a výstižně dokumentovat tak, aby mohly být správně promítnuty do hodnocení změřených dat.

Problematikou konvergenčního měření je skutečnost, že v měřeném místě při jeho referenčním měření již podstatná deformace proběhla. Deformace se totiž začínají rozvíjet ve značné vzdálenosti před čelbou. Když konvergenčním profilem projde budoucí čelba a než se osadí měřické body, tak uběhne nějaká doba, ve které probíhají významné nezanedbatelné deformace. Touto dobou je dáno časové pásmo nutné k provedení celého záběru, nastříkání primárního ostění v novém záběru, osazení nových konvergenčních bodů a časem jež uplyne do vlastního měření bodů. V průběhu této doby a v místě konvergenčního profilu samozřejmě deformační proces s různou intenzitou probíhá.

Určitým důvodem nejistoty při porovnávání výsledků z různých konvergenčních profilů bývá skutečnost, že první konvergenční měření může být zaznamenáváno v ne zcela stejných okamžicích vzhledem k časové sekvenci ražeb a i v různých vzdálenostech od čelby. [2]

Důsledkem všech těchto skutečností je, že hodnoty konvergenčních měření často dosahují pouhé poloviny celkových hodnot konvergence, které by bývaly byly změřeny, pokud by se zachytila reakce horninového masivu na postup ražby od samého počátku již před přibližující se čelbou. Některé údaje o rozdílu mezi hodnotami sednutí konvergenčního bodu v klenbě tunelu a kotvou extenzometru fixovanou cca 1 metr nad konvergenčním bodem v tunelu jsou v následující tabulce. [2]

Tabulka č. 4.1: Rozdíl sednutí konvergenčního bodu v klenbě tunelu a kotvou extenzometru.

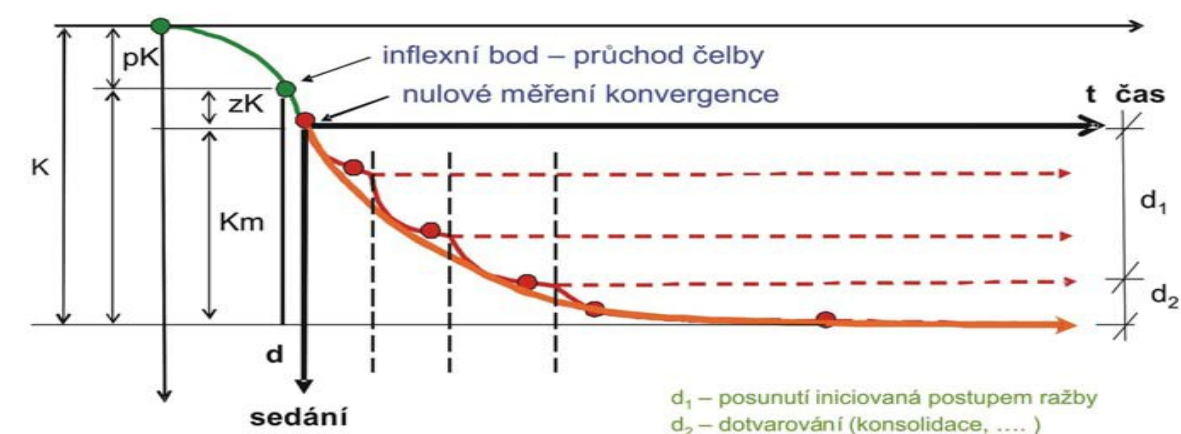
Tunel	mm	mm	mm	mm	mm
Mrázovka (kolečkář)	336/280	136/82	82/26	23/11	77/38
Valík	31/16	39/12	25/19	48/26	34/16
Nové spojení	11/14				
Lahvice 514	34/31	30/15			
Brno - Dobrovského	40/4	40/5	46/6		
Blanka	15/4	5/5			
Laliky	80/1	18/3	24/3	30/5	31/65

V předchozí tabulce č. 4.1 vidíme, že zjištěné hodnoty konvergenčního měření jen málo dosahují pouhých 50% z celkové hodnoty sednutí klenby tunelu. Podstatný vliv na výsledky konvergenčních měření má i stávající orientace strukturních prvků horninového masivu vůči čelbě. V praxi se může měnit od čelby k čelbě.

Výrazný vliv na průběh deformace ostění tunelu i jeho změřenou velikost mají vlastnosti horninového masivu, geometrický tvar a velikost příčného průřezu výrubu, naddimenzování primárního ostění, rozdělení čelby a způsob provádění ražby.

Na následujícím obrázku č. 4.7 můžeme vidět celkový průběh sedání měřeného bodu v klenbě tunelu. Zelená část křivky znázorňuje neidentifikovatelnou deformaci, nazývanou tzv. ztracenou konvergencí. Měřením dokážeme zjistit pouze červenou část křivky.

Obrázek č. 4.7: Ztracená konvergence primárního ostění (zelená část křivky).



$$K = pK + zK + Km$$

K....celková konvergence

zK....ztracená konvergence

pK.....počátek konvergence

Km...konvergenční měření

Výsledky konvergenčních měření, získávaných standardně při monitorování průběhu ražeb tunelu, by měly být interpretovány s přihlédnutím k těmto zkrácením. Pro účely jejich použití jako vstupních dat pro modelování MKP je reinterpretace nezbytností. [2]

Subjekt odpovědný za hodnocení a interpretaci výsledků měření monitoringu musí rozhodovat téměř okamžitě po změření. Kromě toho vždy čelí značnému tlaku na rychlý a ekonomický postup ražeb. Proto obvykle nemá dost času na hledání fyzikálních vysvětlení naměřených dat. Výsledky monitoringu tak často bývají jejich uživatelům předkládány bez dostatečného vysvětlení a bez plného pochopení všech procesů, které je způsobují. [2]

Důvodem zkrácení je několik příčin. Je to proto, že proces deformací horninového prostředí je sám časově závislý. Při němž se v průběhu ražby uplatňují i další vlivy, které ovlivňuje tento časový průběh. Hlavně je to intenzita a časová následnost ražby. V různém čase jsou nasazovány různé technologické prvky ražení, které se mohou aplikovat různým způsobem a intenzitou. Důsledkem jsou probíhající změny způsobené změnami ne způsobu zatížení výrubu.

4.2.2 Standardní hodnocení výsledku konvergenčních měření

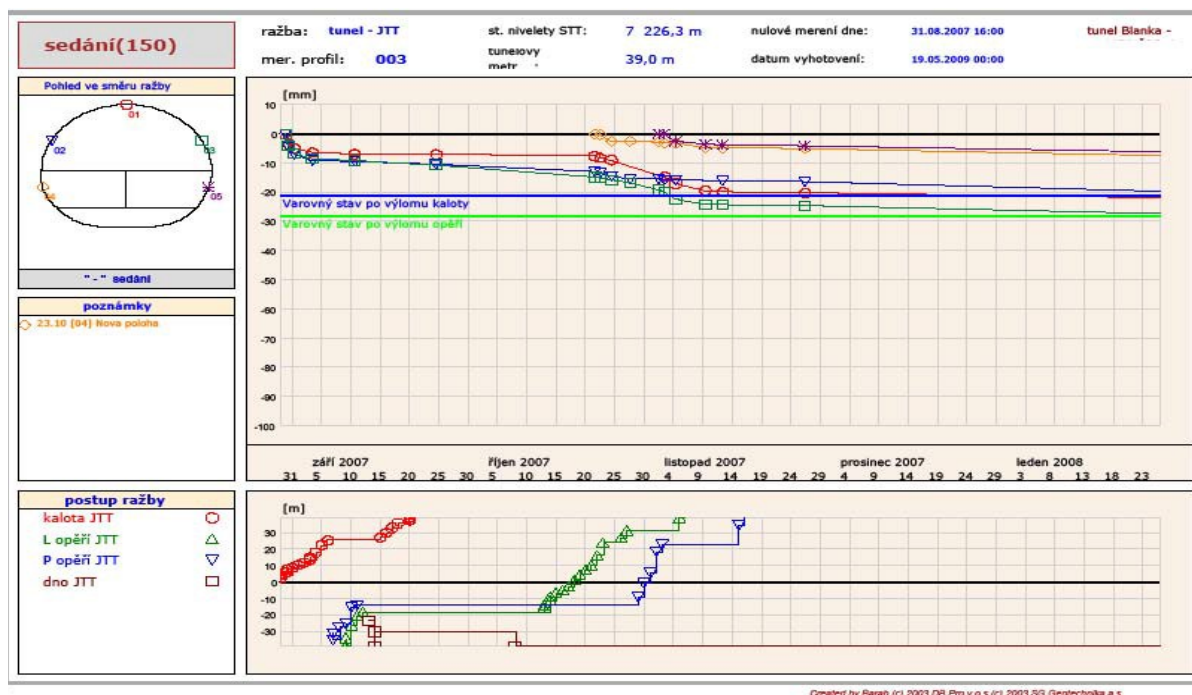
Standardním způsobem hodnocení konvergenčních měření primárního ostění během ražeb tunelu je prostý časový průběh posuvů jednotlivých konvergenčních značek,

a to jak ve svislém, tak i ve vodorovném směru. Tyto grafy jsou na časové ose vždy doprovázeny znázorněním jednotlivých fází ražeb a čeleb vůči aktuálnímu konvergenčnímu profilu. (obrázek č. 4.8) [3]

Aktuální znázornění polohy čelby je zásadní a důležité, protože na časové ose vymezuje okamžik, kdy se deformace zrychlují v reakci na další krok ražby a okamžik, kdy již deformace probíhají prakticky za stálého zatížení ostění horninovým tlakem a v optimální situaci by mělo tedy docházet k jejich ustalování.

Dalším hodnocením je zobrazení vektoru posuvů konvergenčního bodu v rovině kolmé na osu tunelu. Souměrnost zatížení na ostění a rozložení napětí v ostění indikují vektory. V případě, že obě napětí na opěřích tunelu jsou nesouměrné, svědčí to o výrazné anizotropii (závislost fyzikálních vlastností prostředí na směru) horninového masivu, naklonění elipsoidu napjatosti, či o jiných příčinách. V konkrétním případě je třeba zjistit deformační chování, které je v souladu s výpočtem.

Obrázek č.: 4.8: Standardní hodnocení konvergenčních měření.



Podkladem pro inženýrská rozhodování během ražby jsou grafy, např. obrázek č. 4.8, při nichž se nezohledňují výše vedená zkrácení, která při standardních měření vznikají. I přestože jsou z konvergenčních měření TS získávány a zaznamenávány podélné (tangenciální) složky posuvů měřických bodů, tak se s nimi při inženýrském hodnocení nepracuje.

4.2.3 Variantní způsoby grafického znázornění výsledků konvergenčních měření.

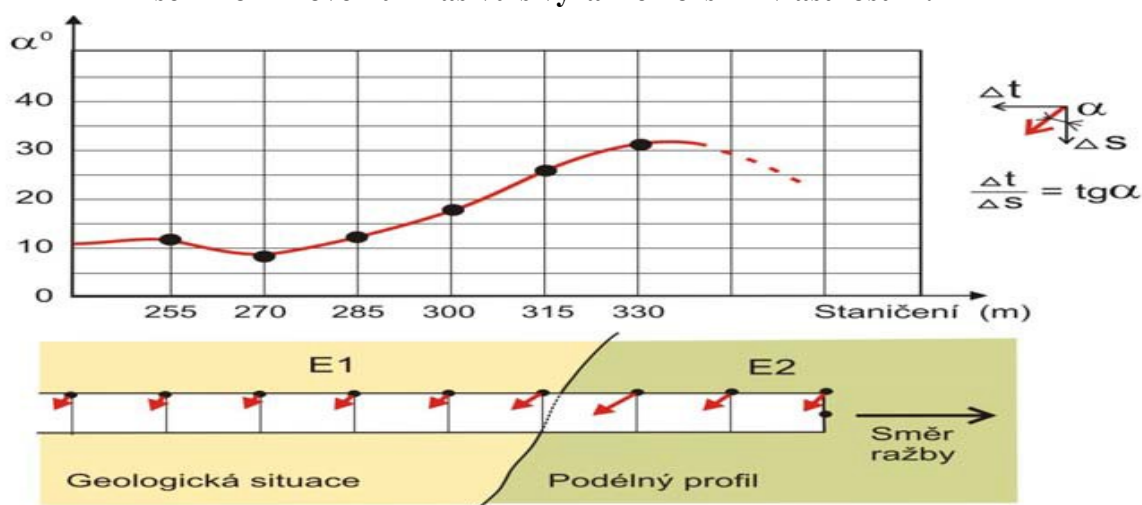
Některé zahraniční práce, například Schuster 2002, naznačují, že při zohlednění vlivu přesné polohy konvergenčního profilu vůči čelbě a korekce s ohledem na stejný okamžik konvergenčního měření, lze získat i další významné poznatky o charakteru horninového masivu a o chování systému hornina-stavební konstrukce. Navrhuje proto některé, dosud nestandardní způsoby zpracování a znázornění měřených dat. [4]

Pro spolehlivější předpověď následujícího vývoje posuvů měřených bodů, ale i pro případnou předpověď významnějších odchylek ve vlastnostech horninového masivu, který se nachází těsně před čelbou můžeme tedy čerpat z poznatků a znázornění těchto zahraničních prací. To může být významné pro ražení v nehomogenním horninovém prostředí, v případě městské zástavby a mělkém nadloží.

Tangenciální složka posuvu konvergenčního bodu:

Jedná se o vodorovnou složku posuvu konvergenčního bodu ve směru podélném osy tunelu. Poukazuje na to, že za některých okolností může být tato složka v místech procházející porušenými oblastmi velmi výrazná. V ideální situaci lze tangenciální složku posunu znázornit společně se svislým sedáním měřického bodu ve vrcholu klenby ve formě vektoru. Podle pana Schustera (2002) změny velikosti a orientace tohoto vektoru pak mohou výraznou změnu podílet na deformačních vlastnostech horninového masivu ještě před čelbou.

Obrázek č. 4.9: Změny vektoru s tangenciální složkou posuvů při přibližování se k horninovému masivu s výrazně horšími vlastnostmi.

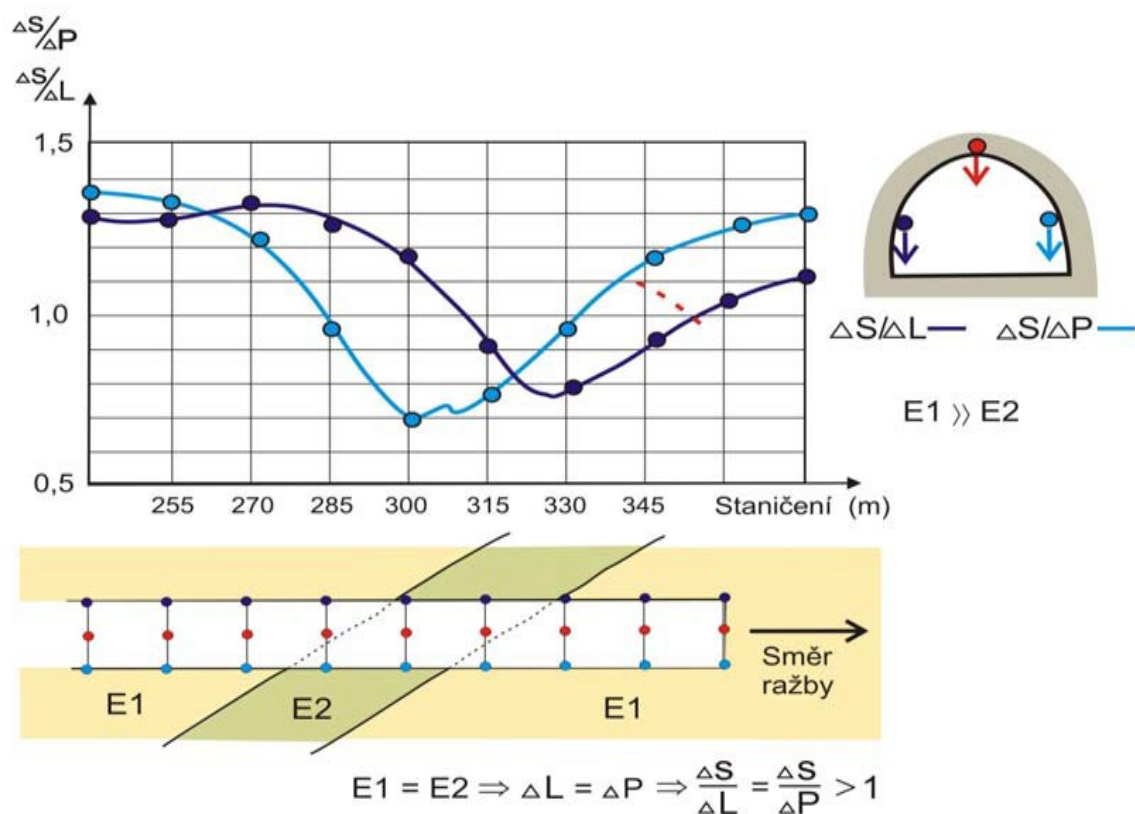


Samozřejmostí je, že obě složky vektoru musí v různých profilech odpovídat posuvům za stejných podmínek, tj. konvergenční měření musí být korigováno na stejnou vzdálenost konvergenčních bodů od čelby a stejnou dobu měření po dokončení záběru a osazení konvergenčního bodu.

Čáry poměrných posuvů dvou konvergenčních bodů téhož profilu:

Čáry značené modře na obrázku č. 4.10 znázorňují podélné osy tunelu a poměrné posuvy mezi dvěma vybranými konvergenčními body v daném měřickém profilu. Převážně se znázorňují vzájemné poměry mezi svislým posuvem měřického bodu umístěného ve vrcholu primárního ostění tunelu a svislým posuvu měřických bodů osazených zrcadlově k ose tunelu na opěřích primárního ostění tunelu. Podmínkou je změření všech konvergenčních bodů měřického profilu ve stejný okamžik.

Obrázek č. 4.10: Čára poměrných posuvů v úseku šikmo procházejícím poruchou.



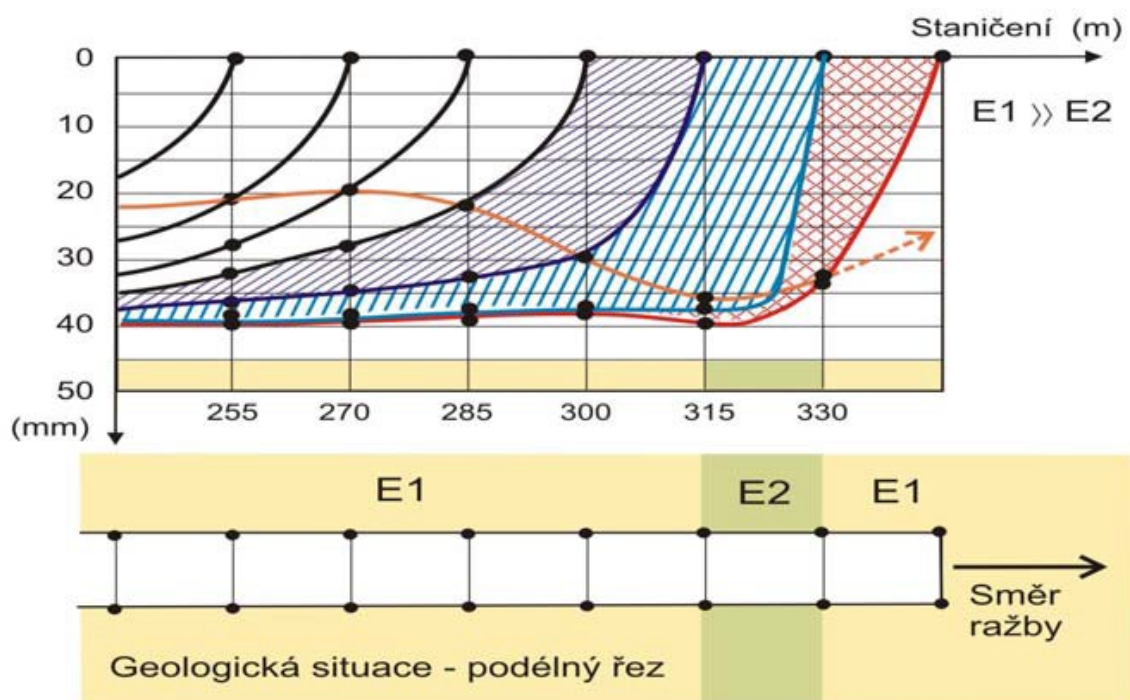
Zde můžeme usuzovat šikmý průběh poruchy vůči podélné tunelové ose, a to z důvodu posunutí konvergenčních bodů jak v pravém, respektive levém opěří, k bodu osazeném v klenbě. Stejným způsobem lze podle potřeby znázorňovat poměry jiných složek posuvů konvergenčních bodů v jednom konvergenčním profilu (radiální a tangenciální).

Průběžné konvergenční čáry:

Čáry, které spojují hodnoty konvergenčních bodů podél staničení tunelu, se označují jako tzv. průběžné. Měří se vždy ve stejné době po dokončení předcházejícího záběru daného měřického profilu. Takto je možné přímo provedená měření vynášet.

Správnější však je tato měření korigovat na stejnou dobu měření, případně i na stejnou vzdálenost od příslušného konvergenčního profilu od čelby (v okamžiku, kdy se provádělo nulové měření). Na dalším obrázku č. 4.11 je znázorněno hodnocení několika konvergenčních profilů v blízkosti čelby, která procházela zónou oslabení. [4]

Obrázek č. 4.11: Průběžné čáry konvergenčních bodů.

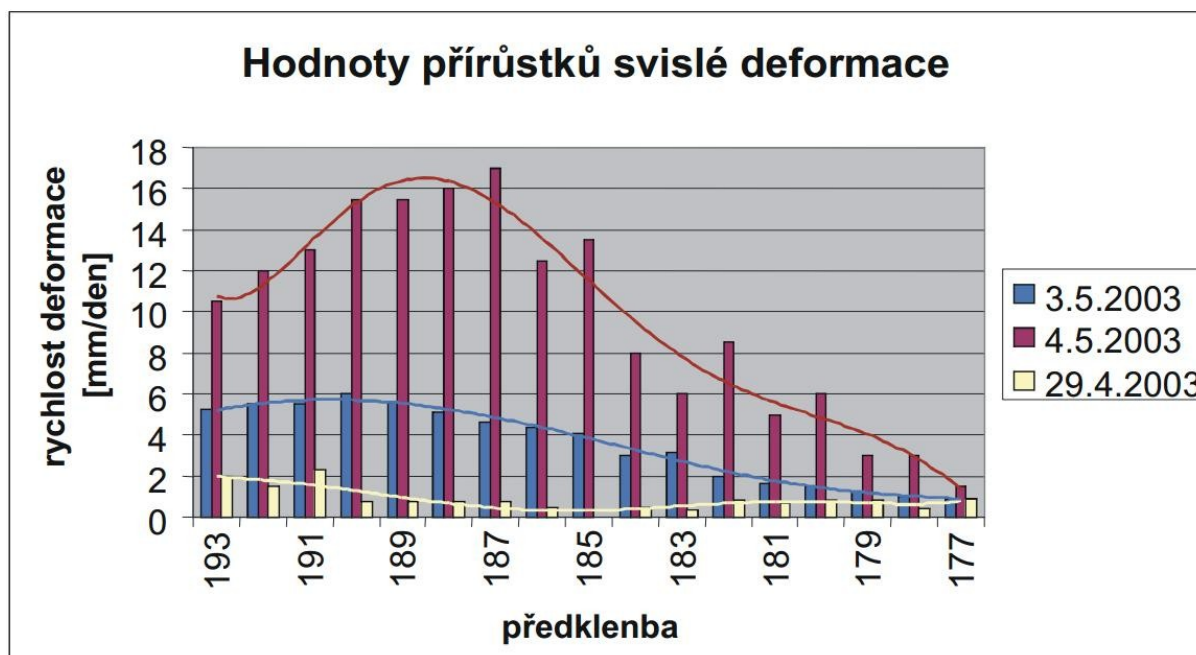


Z předchozího obrázku č. 4.11 je zřejmé, že ještě před tím, než se konvergenční profil dostal do oslabené oblasti, začal vykazovat větší posuvy než jinde. Toto znázornění tak lze použít pro předpověď oslabené zóny horninového masivu ještě před čelbou. Změny ploch vymezených časovými průběhy sedání dvou po sobě jdoucích konvergenčních měření lze také použít.

Konečná sednutí konvergenčního bodu v klenbě v tomto znázornění přehledně ukáže místa s rozdílnými deformačními vlastnostmi horninového masivu. V následujícím obrázku č. 4.12 je ukázáno obdobné znázornění velikosti posuvů konvergenčního bodu v klenbě tunelu Březno v úseku, který se zavalil v květnu 2003. Průběžné čáry sedání včetně sloupcového grafu jsou nakresleny pro deformace po jednom, druhém a třetím dnu měření. Zcela spolehlivě bylo možno označit místo, kde došlo k iniciaci porušení konstrukce ostění jeho zabořením, což má velký význam pro určení místa, ve kterém se mají zkoumat příčiny porušení horninového masivu. [4]

Citlivost vlivů, jako je změna technologie ražby, změny v tuhosti ostění, změna rychlosti ražby atd. je dalším možným způsobem znázornění. Jsou to faktory, na které by se nemělo opomínat při interpretaci výsledků měření.

Obrázek č. 4.12: Průběžná čára deformací konvergenčních měření u tunelu Březno v místě kolapsu.



4.3 Geodetické práce při realizaci tunelů ražených novou rakouskou tunelovou metodou

K nejdůležitějším faktorům dopravních staveb bezesporu patří její geometrická přesnost. V procesu výstavby těchto staveb nesmějí tedy chybět inženýrští geodeti. Proto se v další části práce budeme věnovat jejich úkolům při výstavbě podzemních liniových děl - tunelů, stol, šachet a metodě ražení Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM), která se používá v závislosti na heterogenním horninovém prostředí ve střední Evropě.

Geodetická měření na tunelech ražených NRTM:

NRTM je metoda ražení, která využívá výsledky denních měření 3D posunů ostění tunelu (přímo měření konvergence), které jsou potřebné pro průběh optimalizace vystrojovacích prvků během ražby tunelu a je tedy úzce provázána s měřickými pracemi.

Geodetické měření při NRTM můžeme rozdělit na:

- vytyčování a usměrňování ražení,
- měření 3D posunů v tunelu,
- geodetické práce při zhotovení sekundárního ostění tunelu.

Vytyčovací práce a usměrňování ražení při NRTM:

Na vytyčování a usměrňování ražení se využívají laserové systémy. Ty jsou tvořeny zpravidla buď standardními trubicovými čárovými lasery, nebo automatickými vytyčovacími laserovými systémy.

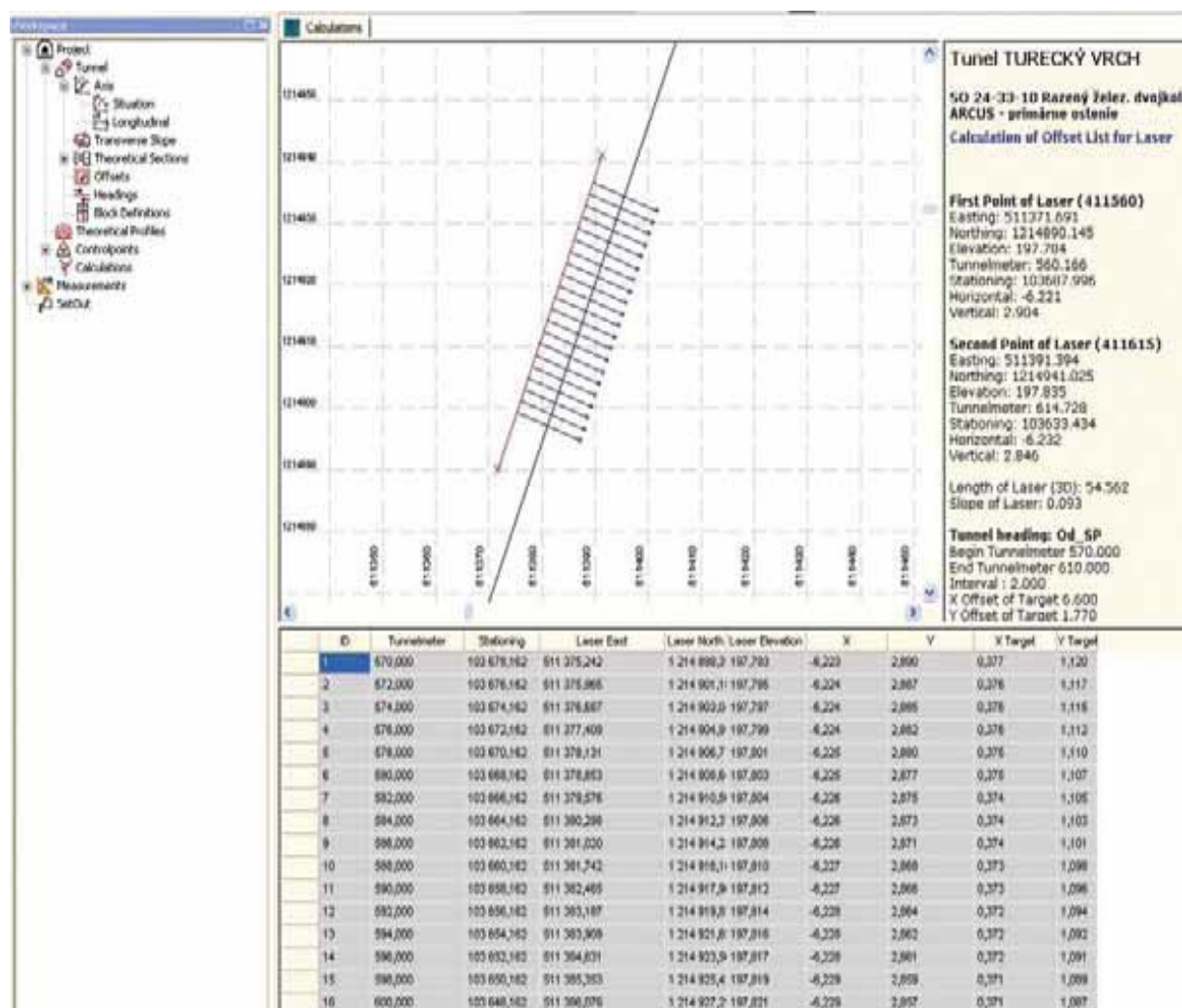
Líniové lasery se stále dost využívají, a to jak u nás, tak v zahraničí (Chorvatsko, Slovinsko, Itálie, Rakousko). Tyto lasery slouží jen na zviditelněné prostorové referenční přímky, od které se následně počítají ortogonální vytyčovací prvky (staničení a kolmice) zpravidla k přesnému určení místanosného oblouku (nosník Bretex, Arcus, TH, apod.).

Většina standardních dvouproudových silničních tunelů je rozdělena během ražení do tří vertikálních částí - kaloty, jádra a protiklenby. Obvyklé rozmístění a počet liniových laserů se skládá ze tří laserů v kalotě a v jádře. Pro výpočet vytyčovacích prvků jsou používány grafickopočetní metody (spojení kreslicího programu např. AutoCAD a výpočetního projmu např. Geus, Excel, apod.), nebo moderní softwary vyvinuté přímo pro geodetická měření v tunelových stavbách.

V geodetické skupině divize Silniční stavitelství závodu Tunely společnosti Skanska a.s., se využívají softwary od firem Amberg (TMS - Tunenel Measurement Systém) a Angermeier (Power-vermessung, Geo 2000). [5]

Obě skupiny softwarů jsou stále používané na stavbách, avšak v poslední době je více využíván TMS od firmy Amberg, protože tento software obsahuje balíček s několika samostatnými programy - TMS Office, TMS ProScan Plus, TMS SetOut, TMS Tunnelscan. Práce s tímto balíčkem je velmi efektivní. V programu TMS Office jsou definovány všechny projektové parametry tunelu - osy tunelu, podélná a příčný řez, příčný náklon, změna příčného profilu. Následně jsou zaměřovány laserovými paprsky v prostoru tunelu (většinou dvěma body). [5] Tyto jsou pak přeneseny do programu, který následně vypočítá všechny potřebné vytyčovací prvky pro správné postavení příhradového oblouku primárního ostění tunelu.

Obrázek č. 4.13: Protokol o výpočtu vytyčovacích prvků v programu TMS Office.

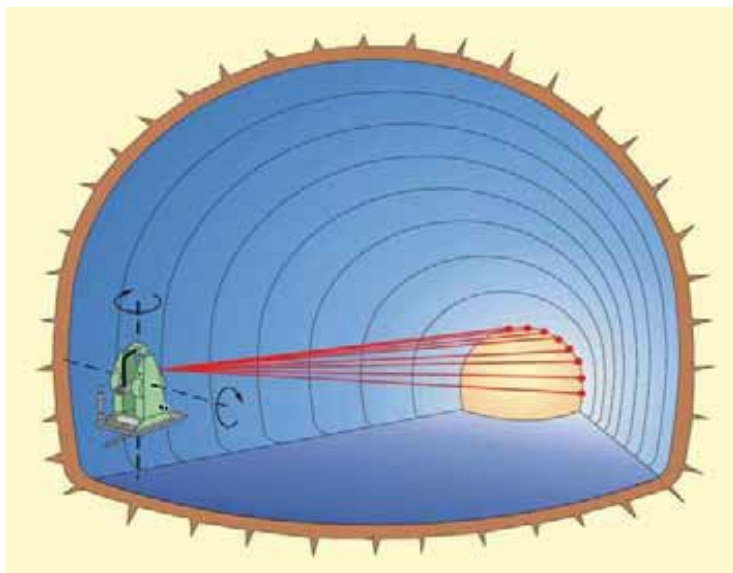


Výstup z programu je formou vytyčení a je zřejmý z předchozího obrázku č. 4.13. Druhým podstatně modernějším řešením je usměrňování ražení a využití automatických vytyčovacích laserových systémů (AVLS). Jde o spojení totální stanice a liniového laseru. V poslední době došlo v této oblasti k výraznému pokroku. Prakticky většina výrobců již vyrábí TS s vytyčovacím laserem umístěným přímo v optické ose dalekohledu, tj. AVLS, často nazývaný také "motorlaser", sestává z TS a řídicího počítače s dálkovým ovládáním.

Do řídicího programu TS jsou stejně jako v předchozím případě při použití liniových laserů definovány projektové parametry a kontrolní měřické body v tunelu v podobě konvergenčních měřických bodů.

Následně je TS AVLS osazená na konzolu do tunelu a jsou upřesněny údaje o její poloze (souřadnicemi X, Y, Z) a orientaci. Takto nastavený koncept přístroje AVLS je připraven k vytyčování. Vytyčování je prováděno zpravidla změnovými technikami. Na vytyčení aktuální polohy příhradového oblouku je už jen vybrána požadovaná část tunelové trouby a je zadáno aktuální staničení příhradového oblouku. Po zadání těchto údajů přístroj vytyčuje předem definované body obvodu oblouku. Postup je znázorněn na obrázku č. 4.14.

Obrázek č. 4.14: Vytyčení bodů Motorlaserem pro postavení příhradového nosníku.



Využití AVLS pro usměrňování ražení je velmi moderní a efektivní metodou. Její nevýhodou je vyšší pořizovací náklady oproti liniovým laserům a v případě poruchy nebo poškození přístroje, ztráta celého vytyčovacího schématu pro tunel. V každém případě je vytyčování tunelů AVLS cestou do budoucna, která časem nahradí používání klasických liniových laserů.

Měření 3D posunů tunelového ostění při NRTM:

Při NRTM má měření 3D posunů primárního ostění tunelu (v praxi označováno jako měření konvergence) velký význam z důvodu optimalizace kontroly navrženého ostění tunelu, případně její zesílení (nebo i zeslabení). Pro měření 3D deformací se využívají nejpreciznější přístroje. V našich geodetických podmínkách se využívají TS (např. Leica TC 1800 a Leica TCRM 1201), jde o velmi přesné přístroje s úhlovou přesností $1''(0,3\text{mgon})$ a přesností dálkoměru $1\text{mm} \pm 1,5\text{ ppm}$. [5]

Jedná se o relativní přesnost. Tuto přesnost můžeme definovat jako směrodatnou odchylku vypočtenou ze dvou, nebo více nezávislých měření stejného bodu konvergenčního profilu, zaměřeného v krátkém časovém rozpětí (z důvodu vyloučení deformace daného bodu).

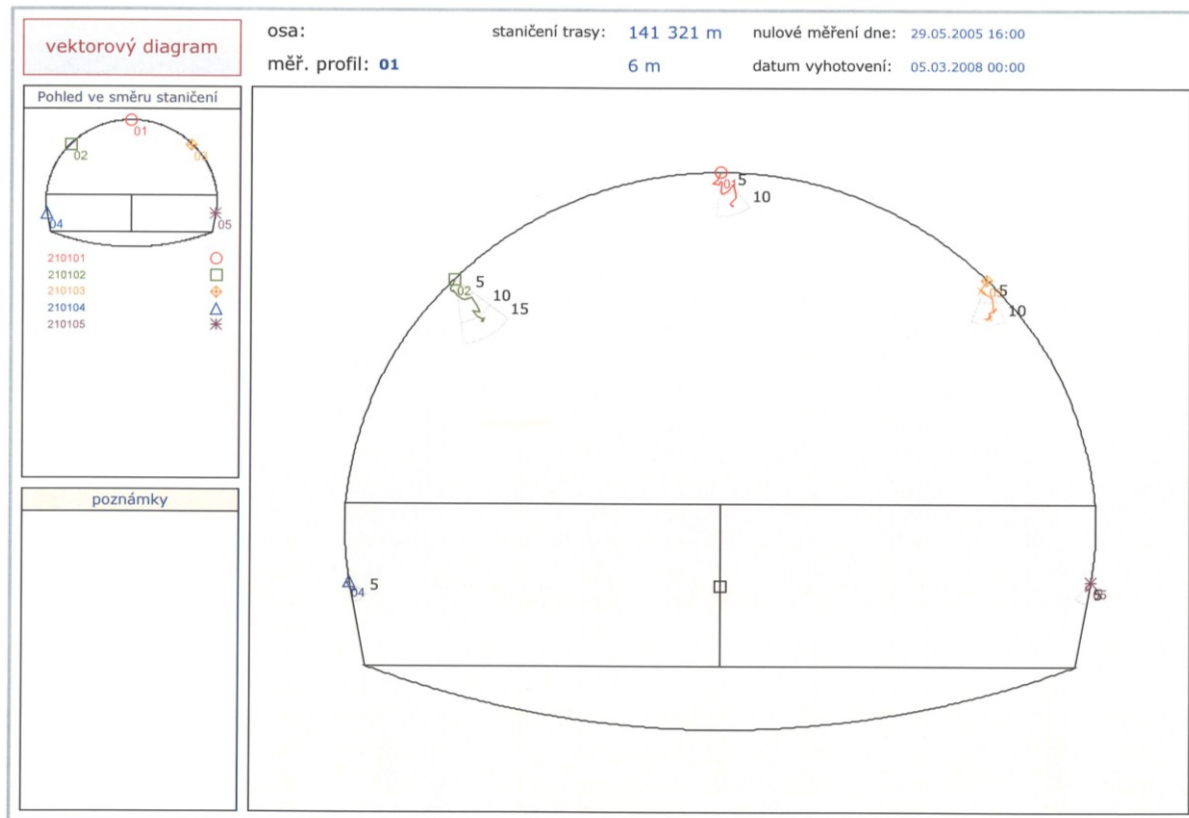
V posledních letech je snaha o přesnost tzv. supervizí geotechnického monitoringu, jehož součástí jsou měření 3D posunů v tunelu. Jde o neustálé zpřesňování měření s použitím náročnějších metod, z důvodu co největšího přiblížení se skutečným 3D posunům měřických profilů.

Důvodem této snahy je i pozdější využití konvergenčních bodů k samotné fázi výstavby tunelu jako bodů podrobné vytyčovací sítě (PVS) tunelu. Body PVS tunelu jsou zpravidla zaměřované z bodů základní vytyčovací sítě (ZVS) tunelu na povrchu a v tunelu. Při výpočtech co nejpreciznější polohy ZVS a PVS jsou používány speciální vyhodnocovací programy síťových měření. V dalších fázích výstavby jsou tyto body brány jako podklad pro nové body PVS tunelu umístěny v sekundárním ostění tunelu. Tyto nové body jsou pak využívány až do konce úplného konce geodetického měření.

Denní měření 3D posunů primárního ostění jsou zpracovávány v daných softwarech a výsledky předávány vybraným účastníkům výstavby tunelu a papírové nebo elektronické podobě. Měření 3D posunů bývají zpravidla zpracovány jako součást geotechnického

monitoringu tunelu a v součinnosti s ostatními měřeními geotechnického monitoringu tvoří důležitou součást NRTM. Grafické měření je zobrazeno na obrázku č. 4.15.

Obrázek č.: 4.15: Grafické zobrazení vodorovných a svislých posunů bodů.



Geodetické práce při zhotovování sekundárního ostění tunelu raženého NRTM:

K měřickým pracím se používají stejné přístroje a softwarové vybavení jako u předchozích fázích tunelu. V této fázi, kdy se buduje v tunelu velké množství prvků (základové pasy, drenážní potrubí, výklenky, kabelové kolektory), je velmi výhodné použití aplikačního programu TMS ProScan Plus v geodetickém přístroji. Tvary a umístění převážné většiny tunelů jsou jednoduše definovány v projektu, a to staničení stejnými profilovými souřadnicemi a příčným profilem tunelu. Tato vlastnost se využívá při vytvoření vytyčovacích protokolů, přičemž geodeti následně vytyčují stejné profilové souřadnice po celou délku trasy tunelu, které se zobrazují na displeji přístroje a průběžně jsou kontrolovány při samotném měření v tunelu.

Stejným způsobem je vytyčován příčný profil sekundárního ostění tunelu. Tyto jsou vypočteny z projektu, následně je podle nich kalibrován bednicí vůz na betonáž horní klenby tunelu a potom je už jen geodetem ustaven do patřičné polohy.

Na tunelech, kde je horní klenba sekundárního ostění v celé délce tunelu budována ze železobetonu jsou kladeny zvýšené nároky na geodetické práce. Ocelová výztuž betonu, která je budována prvně, ještě před přesunem bednicího vozu, musí být osazena do přené pozice. Z tohoto důvodu je i část výztuže (příhradový nosník) vytyčována a kontrolována geodety. Stejně tak i vytyčují přesné hranice mezi bloky, z důvodu zesílení mezilehlé hydroizolace a montáže gumového hydroizolačního pásu.

Stejným způsobem se postupuje i při budování konstrukce vozovky a chodníků. Výjimkou je pouze možnost použití programu určeného pro cesty Road Line totální stanice Leica.

5 Závěr

Kompletní bakalářská práce pojednává o konvergenčním měření a o jeho možnostech využití v celém odvětví geotechniky.

Je důležité si uvědomit, že úkolem konvergenčního měření je stanovit relativní délkové (tvarové) změny konstrukce. Konvergenční měření nepracuje s absolutními délkami konstrukce, konvergenční měření ani neposkytuje informaci, jak se jednotlivé koncové body záměry podílí na naměřené relativní změně. Výsledky konvergenčního měření poskytují s omezenou přesností představu, k jak velkým deformacím jakého charakteru čase dochází. Poskytují dostatečně přesné informace pro geotechniku, zda se splnily předpoklady o velikost nárůstu zatížení či deformace v čase.

Jako názorný příklad konvergenčního měření je v práci uvedeno a blíže popsáno konvergenční měření Kačinského tunelu na Slovensku, kterého jsem se i já osobně zúčastnil spolu s pracovníky firmy Inset s.r.o. V této části práce je charakterizován i postup daného měření a následně jsou vyobrazeny dva grafy konvergenčního měření, které zobrazují vertikální a horizontální posuny měřených bodů v železničním tunelu za určité časové období.

Přínosem celé bakalářské práce nebylo jenom to, že jsem se blíže seznámil s teoretickou problematikou konvergenčního měření v oboru geotechniky, ale co mi také velmi rozšířilo obzor, bylo praktické zapojení do samotného měření konvergence tunelového tělesa.

Informace a podklady pro zpracování bakalářské práce byly čerpány z odborné knižní literatury, z materiálů dostupných na internetových portálech a z interních dokumentů poskytnutých firmou Inset s.r.o.

Závěrem bych chtěl poděkovat vedoucí bakalářské práce paní doc. RNDr. Evě Hrubéšové Ph.D. za její odborné rady a čas, který mi věnovala při řešení dané problematiky.

6 Seznam pramenů

6.1 Publikace

[1] MAREK, Roman. *Vliv nehomogenit a anizotropie horninového masívu na kvalitativní a kvantitativní obraz přetváření výlomu tunelu*. Ostrava, 2005. Diplomová práce. Vysoká škola Báňská - TU Ostrava, Fakulta stavební. Vedoucí práce Prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc.

[2] ROZSYPAL, Alexandr. *Variantní metody hodnocení konvergenčních měření ostění při ražbě tunelu: Definice problému* [online]. 2009, s. 11. Dostupné z: http://www.arcadisgt.cz/_public/upload/datastorage/492009/e60ad/rozsypal-hodnoceni-konvergence1.pdf

[3] ROZSYPAL, Alexandr. *Variantní metody hodnocení konvergenčních měření ostění při ražbě tunelu: Standardní hodnocení výsledku konvergenčních měření* [online]. 2009, s. 11. Dostupné z: http://www.arcadisgt.cz/_public/upload/datastorage/492009/e60ad/rozsypal-hodnoceni-konvergence1.pdf

[4] ROZSYPAL, Alexandr. *Variantní metody hodnocení konvergenčních měření ostění při ražbě tunelu: Variantní způsoby grafického znázornění výsledků konvergenčních měření* [online]. 2009, s. 11. Dostupné z: http://www.arcadisgt.cz/_public/upload/datastorage/492009/e60ad/rozsypal-hodnoceni-konvergence1.pdf

[5] FERANČÍK, Peter. Geodetické práce při realizaci tunelových a ostatních podzemních staveb v dopravním stavitelství. *Tunel*. 2011, roč. 2011, č. 3.

BERNARD, R.: *Problematika kontrolního sledování na podzemních dílech a vyhodnocování varovných stavů*. Disertační práce, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011.

ROZSYPAL, A.: *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Bratislava: Jaga, 2001, ISBN 80-88905-44-3.

6.2 Internetové odkazy

<http://www.slopeindicator.com/instruments/bassett.html>

<http://www.huddy.cz/produkty/extenzometry-24/extenzometr-s-digitalnim-zaznamem-283>.

<http://slopeindicator.com/instruments/bassett.html>.

http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Theodolite_vermeer.png

<http://www.meraj.sk/Geo-Fennel%20-teodolit-fet-420k>.

<http://fast10.vsb.cz/hrubesova/mon4.htm>.

<http://www.asb-portal.cz/geotechnicky-monitoring-pri-vystavbe-tunelu-slivenec-stavba-sokp-514/galeria/1504/10676>

<http://merici-pristroje.cz/produkty/podle-vyrobce/faro/laser-scanner/>

http://www.panoramio.com/photo_explorer#view=photo&position=531&with_photo_id=55758252&

<http://www.zalevno.cz/z/213322/dum-a-zahrada/stavebniny-a-vybaveni-stavby/totalni-stanice-leica-tcr-803power-gps-garmin>

http://www.arcadisgt.cz/_public/upload/datastorage/492009/e60ad/rozsypan-hodnoceni-konvergence1.pdf.

6.3 Obrázky, tabulky a grafy

Obrázek č. 2.1: Konvergometr.

Zdroj: <http://www.huddy.cz/produkty/extenzometry-24/extenzometr-s-digitalnim-zaznamem-283>.

Obrázek č. 2.2: Použití mechanických a konvergenčních měřidel.

Zdroj: MAREK, Roman. *Vliv nehomogenit a anizotropie horninového masívu na kvalitativní a kvantitativní obraz přetváření výlomu tunelu*. Ostrava, 2005. Diplomová práce. VŠB - TU Ostrava, Fakulta Stavební.

Obrázek č. 2.3: Basetův konvergenční systém.

Zdroj: <http://slopeindicator.com/instruments/bassett.html>.

Obrázek č. 2.4: Teodolit a jeho osy pohybu.

Zdroj: <http://www.meraj.sk/Geo-Fennel%20-teodolit-fet-420k>.
http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Theodolite_vermeer.png

Obrázek č. 2.5: Schéma zaměřování odrazových terčů.

Zdroj: <http://fast10.vsb.cz/hrubesova/mon4.htm>.
<http://www.asb-portal.cz/geotechnicky-monitoring-pri-vystavbe-tunelu-slivenec-stavba-sokp-514/galeria/1504/10676>

Obrázek č. 2.6: Laserový scanner a 3D model tunelu.

Zdroj: <http://merici-pristroje.cz/produkty/podle-vyrobce/faro/laser-scanner/>

MAREK, Roman. *Vliv nehomogenit a anizotropie horninového masívu na kvalitativní a kvantitativní obraz přetváření výlomu tunelu*. Ostrava, 2005. Diplomová práce. VŠB - TU Ostrava, Fakulta stavební.

Obrázek č. 3.1: Řez tunelového měřického profilu.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD.

Obrázek č. 3.2: Schéma skalní stěny a povrchového konvergenčního měření.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD.

Obrázek č. 3.3: Schéma umělého násypu a povrchového konvergenčního měření.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD.

Obrázek č. 4.1: Kačinský tunel na Slovensku.

Zdroj: http://www.panoramio.com/photo_explorer#view=photo&position=531&with_photo_id=55758252&order=date_desc&user=1323514

Obrázek č. 4.2: Totální stanice Leica TCR 803.

Zdroj: <http://www.zalevno.cz/z/213322/dum-a-zahrada/stavebniny-a-vybaveni-stavby/totalni-stanice-leica-tcr-803power-gps-garmin>

Obrázek č. 4.3: Řez železničního Kačinského tunel.

Zdroj: Vlastní zpracování v programu AutoCAD.

Obrázek č. 4.4: Situace území v místě Kačinského železničního tunelu.

Zdroj: Projektová dokumentace firmy Inset s.r.o.

Obrázek č. 4.5: Graf pohybu bodů ve vertikálním směru, v období od 25. 3. 2010 do 4. 9. 2011 (KVG5).

Zdroj: Interní materiály firmy Inset s.r.o.

Obrázek č. 4.6: Graf pohybu bodů v horizontálním směru, v období od 25. 3. 2010 do 4. 9. 2011 (KVG5).

Zdroj: Interní materiály firmy Inset s.r.o.

Tabulka č. 4.1: Rozdíl sednutí konvergenčního bodu v klenbě tunelu a kotvou extenzometru.

Zdroj: Vlastní zpracování, dle práce: ROZSYPAL, Alexandr. *Variantní metody hodnocení konvergenčních měření ostění při ražbě tunelu: Definice problému*. 2009.

Obrázek č. 4.7: Ztracená konvergence primárního ostění (zelená část křivky).

Zdroj: http://www.arcadisgt.cz/_public/upload/datastorage/492009/e60ad/rozsypal-hodnocenikonvergence1.pdf.

Obrázek č.: 4.8: Standardní hodnocení konvergenčních měření.

Zdroj: http://www.arcadisgt.cz/_public/upload/datastorage/492009/e60ad/rozsypal-hodnocenikonvergence1.pdf.

Obrázek č. 4.9: Změny vektoru s tangenciální složkou posuvů při přibližování se k horninovému masívu s výrazně horšími vlastnostmi.

Zdroj: http://www.arcadisgt.cz/_public/upload/datastorage/492009/e60ad/rozsypal-hodnocenikonvergence1.pdf.

Obrázek č. 4.10: Čára poměrných posuvů v úseku šikmo procházejícím poruchu.

Zdroj: http://www.arcadisgt.cz/_public/upload/datastorage/492009/e60ad/rozsypal-hodnocenikonvergence1.pdf.

Obrázek č. 4.11: Průběžné čáry konvergenčních bodů.

Zdroj: http://www.arcadisgt.cz/_public/upload/datastorage/492009/e60ad/rozsypal-hodnocenikonvergence1.pdf.

Obrázek č. 4.12: Průběžná čára deformací konvergenčních měření u tunelu Březno
v místě kolapsu.

Zdroj: http://www.arcadisgt.cz/_public/upload/datastorage/492009/e60ad/rozsypal-hodnocenikonvergence1.pdf.

Obrázek č. 4.13: Protokol o výpočtu vytyčovacích prvků v programu TMS Office.

Zdroj: Ferančík Peter.

Obrázek č. 4.14: Vytyčení bodů Motorlaserem pro postavení příhradového nosníku.

Zdroj: Manual k programu TMS-Leic.

Obrázek č.: 4.15: Grafické zobrazení vodorovných a svislých posunů bodů.

Zdroj: Interní materiály firmy Inset s.r.o.